

Beschreibung

Leistungshalbleiterschalter

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft einen IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), der zur Ausbildung bidirektionaler Schalter geeignet ist.

10 Mit Hilfe handelsüblicher IGBTs können bidirektionale Schalter aufgebaut werden, die z. B. in Umrichtern eingesetzt werden, indem jeder IGBT in Reihe mit einer Diode geschaltet wird. Die Durchlaßrichtung der Diode stimmt dabei mit der schaltbaren Stromrichtung des IGBTs überein. Diese Schaltung sperrt daher in der Rückwärtsrichtung. Es sind damit aller-

15 dings hohe Durchlaßverluste in Kauf zu nehmen. In der US 5,608,237 ist ein bidirektionaler Halbleiterschalter aus IGBTs beschrieben, bei dem IGBT-Strukturen an zwei einander gegenüberliegenden Hauptseiten eines Halbleiterkörpers ausgebildet sind. Die Dimensionierung derartiger Vorschläge für

20 bidirektional sperrende Schalter ist jeweils so gewählt, daß sich ein NPT-Bauelement (Non Punch Through) ergibt. Unter Sperrbelastung baut sich im Bauelement ein dreiecksförmiges Feldprofil auf. Andere symmetrisch sperrende Bauelemente wie z. B. Thyristoren oder GTOs weisen ebenfalls eine Non-Punch-

25 Through-Dimensionierung auf. Das macht eine hohe Dicke des Bauelementes erforderlich und erhöht damit die Schalt- und Durchlaßverluste gegenüber der dünneren Punch-Through-Dimensionierung.

- 30 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen einfach konzipierten Schalter anzugeben, der in beiden Richtungen hohe Spannungen sperren kann. Diese Aufgabe wird mit dem Bauelement mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst. Ausgestaltungen ergeben sich aus dem abhängigen Anspruch.

35

Bei dem erfindungsgemäßen Bauelement wird eine herkömmliche Struktur eines Leistungshalbleiterschalters, z. B. eines

IGBTs, mit einer zusätzlichen Pufferschicht auf der Source-Seite versehen und so dimensioniert, daß in einem Betriebszustand, in dem das Bauelement sperrt, zumindest in einem Bereich hoher elektrischer Spannungen, die an Source und Drain angelegt werden, eine in dem Halbleiterkörper entstehende Raumladungszone entsprechend einer Punch-Through-Dimensionierung bis an die jeweilige Pufferschicht heranreicht. Durch die beidseitig vorhandenen Pufferschichten wird der Vorteil der Punch-Through-Dimensionierung (geringe Dicke des Bauelementes) mit dem Vorteil der Non-Punch-Through-Dimensionierung (Möglichkeit der symmetrischen Sperrfähigkeit) kombiniert.

Es folgt eine genauere Beschreibung des erfindungsgemäßen Bauelementes anhand des in der Figur im Querschnitt dargestellten Beispiels.

In der Figur ist auf der rechten Seite im Querschnitt ein Ausschnitt aus einer IGBT-Struktur dargestellt. Ein erster Basisbereich 1 wird im wesentlichen durch den mit einer Grunddotierung versehenen Halbleiterkörper gebildet. Diese Grunddotierung ist vorzugsweise eine Dotierung für schwache n-Leitfähigkeit. Entsprechend einer an sich bekannten IGBT-Struktur sind ein zweiter Basisbereich 4 entgegengesetzten Vorzeichens und Emitterbereiche 3, 5 vorhanden. Die Abfolge dieser Bereiche besitzt in vertikaler Richtung wechselnde Vorzeichen der Leitfähigkeit. In dem zweiten Basisbereich 4, der bis an die Oberseite des Halbleiterkörpers heranreichend ausgebildet ist, wird an dieser Oberseite ein Kanal ausgebildet, der mittels einer darüber angebrachten und vorzugsweise durch ein Dielektrikum davon getrennten Gate-Elektrode G gesteuert werden kann. Der zweite Basisbereich 4 ist vorzugsweise als p-leitend dotierte Wanne in dem n⁻-leitend dotierten Halbleiterkörper ausgebildet. Innerhalb dieser Wanne befindet sich der entgegengesetzt dazu dotierte Bereich 5 (in diesem Beispiel n-leitend), der mit dem Source-Kontakt S verbunden ist, der auch den zweiten Basisbereich 4 kontaktiert.

Auf der Rückseite des Bauelementes befindet sich ein weiterer dotierter Bereich 3, der als Emitter-Bereich entgegengesetzt zu dem ersten Basisbereich 1 dotiert und mit einem Drain-Kontakt D versehen ist. Entsprechend einer an sich bekannten Punch-Through-Dimensionierung ist die Dicke des Halbleiterkörpers gegenüber IGBTs mit Non-Punch-Through-Dimensionierung geringer gewählt, und es ist eine Pufferschicht 2 desselben Vorzeichens der Leitfähigkeit wie der erste Basisbereich 1, zwischen dem ersten Basisbereich 1 und dem mit dem Drain-Kontakt versehenen Bereich (p-Emitter) angeordnet. Diese Pufferschicht 2 ist vorzugsweise mit einer Dosis von $1 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ bis $4 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ dotiert (Integral über das Dotierungsprofil). In sperrendem Betriebszustand des Bauelementes fällt im Gegensatz zur herkömmlichen Schichtstruktur mit Pufferschicht das elektrische Feld zu einem großen Teil in dem ersten Basisbereich 1 ab. Ein typischer Verlauf des elektrischen Feldes in vertikaler Richtung des Bauelementes ist auf der linken Seite der Figur dargestellt für den Fall, daß der Drain-Anschluß gegenüber dem Source-Anschluß positiv ist (durchgezogene Kurve in dem y-E-Diagramm).

Wesentlich für die Erfindung ist eine weitere Pufferschicht 6, die zwischen dem ersten Basisbereich 1 und dem zweiten Basisbereich 4 vorhanden ist, und die für elektrische Leitfähigkeit desselben Vorzeichens wie der erste Basisbereich 1 (Grunddotierung des Halbleiterkörpers) dotiert ist. Diese in diesem Beispiel n-leitende weitere Pufferschicht 6 ist so hoch dotiert (vorzugsweise mit einer Dosis von $1 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ bis $4 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-2}$), daß bei einer Umpolung der Spannung zwischen Drain und Source sich ein Verlauf des elektrischen Feldes in vertikaler Richtung des Bauelementes ergibt, der im Prinzip der in dem Diagramm auf der linken Seite der Figur eingezeichneten gestrichelten Kurve entspricht. Es liegt hier gewissermaßen der Punch-Through-Fall für die Gegenrichtung vor, so daß dieses Bauelement auch hohe Spannungen in beiden Richtungen sperrt. Der sperrende Betriebszustand wird in an sich bekannter Weise in den von Source nach Drain geöffneten Be-

Betriebszustand überführt mittels der Steuerung des Kanals über die Gate-Elektrode. Es liegt daher erfindungsgemäß ein Bauelement vor, das in einer Stromrichtung einen Schalter darstellt und in Gegenrichtung bis zu hohen Spannungen den Strom sperrt.

Vorzugsweise wird die Grunddotierung des Halbleiterkörpers etwas niedriger gewählt als sonst üblich (z. B. für 1200-V-IGBTs 90 Ωcm statt 60 Ωcm). Die Dicke und die Höhe der Dotierung in dem ersten Basisbereich 1 und den beiden Pufferschichten 2, 6 sind genau zu dimensionieren; bei zu hoher Dotierung und/oder Dicke der Schichten erfolgt ein verfrühter Durchbruch aufgrund der Lawinenmultiplikation der Ladungsträger (Avalanche-Effekt), bei zu niedriger Dotierung der Pufferschichten erfolgt ein Durchbruch aufgrund von Punch-Through des gesperrten PNP-Transistors. Bei richtiger Dimensionierung, die anhand der üblichen Vorgehensweisen für das jeweilige Ausführungsbeispiel leicht gefunden werden kann, kann die Dicke des Bauelementes reduziert werden. Außerdem bewirkt die weitere Pufferschicht 6 unter der p-leitend dotierten Wanne in dem Halbleiterkörper eine Anhebung der Ladungsträgerdichte in diesem Bereich, so daß die Schaltverluste verringert werden und eine Verbesserung um ca. 30-40 % bei gleichbleibenden Durchlaßverlusten möglich ist. Damit ist ein symmetrisch sperrender 1200 V IGBT realisierbar, ebenso symmetrisch sperrende Thyristoren oder GTOs.

Patentansprüche

1. Bauelement mit einem Halbleiterkörper, in dem zwischen zwei Hauptseiten übereinander vier dotierte Bereiche (1, 3, 4, 5) wechselnden Vorzeichens der Leitfähigkeit ausgebildet sind, von denen ein Bereich als erster Basisbereich (1) eine niedrige Grunddotierung des Halbleiterkörpers aufweist und ein weiterer Bereich dazu entgegengesetzten Vorzeichens der Leitfähigkeit als zweiter Basisbereich (4) bis an eine der Hauptseiten heranreichend ausgebildet und derart mit einer an dieser Hauptseite vorhandenen Gate-Elektrode (G) versehen ist, daß ein in dem zweiten Basisbereich ausgebildeter Kanal gesteuert werden kann, und die beiden übrigen Bereiche (3, 5) mit einem Source-Kontakt (S), der auch den zweiten Basisbereich kontaktiert und auf derselben Hauptseite wie die Gate-Elektrode angebracht ist, bzw. mit einem Drain-Kontakt (D) versehen sind, wobei zwischen dem ersten Basisbereich (1) und dem mit dem Drain-Kontakt (D) versehenen Bereich ein weiterer Bereich, der für dasselbe Vorzeichen der Leitfähigkeit wie der erste Basisbereich dotiert ist, als Pufferschicht (2) vorhanden ist und der erste Basisbereich (1) so dimensioniert ist und die Höhe der Dotierung der Pufferschicht (2) so gewählt ist, daß in einem Betriebszustand, in dem das Bauelement in Richtung vom Source-Kontakt zum Drain-Kontakt hin sperrt, zumindest in einem vorgesehenen Bereich angelegter elektrischer Spannungen eine in dem ersten Basisbereich vorhandene Raumladungszone mindestens bis an die Pufferschicht (2) heranreichend ausgebildet ist, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem ersten Basisbereich (1) und dem zweiten Basisbereich (4) eine weitere Pufferschicht (6) vorhanden ist, die für dasselbe Vorzeichen der Leitfähigkeit wie der erste Basisbereich dotiert ist, und

6

die Höhe der Dotierung der weiteren Pufferschicht (6) so gewählt ist, daß das Bauelement in einem vorgesehenen Bereich entgegengesetzter angelegter elektrischer Spannungen in Richtung vom Drain-Kontakt zum Source-Kontakt hin sperrt.

5

2. Bauelement nach Anspruch 1,

bei dem die Höhe der Dotierung der weiteren Pufferschicht (6) so gewählt ist, daß in einem Betriebszustand, in dem das Bauelement in Richtung vom Drain-Kontakt zum Source-Kontakt hin sperrt, zumindest in einem vorgesehenen Bereich angelegter elektrischer Spannungen eine in dem ersten Basisbereich (1) vorhandene Raumladungszone mindestens bis an die weitere Pufferschicht (6) heranreichend ausgebildet ist.

10

0937227 060401

Zusammenfassung

Leistungshalbleiterschalter

- 5 Eine IGBT-Struktur aus aufeinanderfolgenden Bereichen (1, 3, 4, 5) wechselnden Vorzeichens der Leitfähigkeit wird auf Punch-Through dimensioniert und mit zwei Pufferschichten (2, 6) versehen. Damit wird das Bauelement symmetrisch sperrend und als Halbleiterschalter z. B. für Umrichter geeignet.

10

Figur 1